Aus der II. medizinischen Klinik der Königlichen Charité in Berlin
(Direktor: Geh. Med.-Rat Prof. Dr. F. Kraus, zurzeit stellvertr. Direktor Prof. Dr. Th. Brugsch).

STANFORD UNIVERSITY LIBRARY
APR 19 1922

Ueber die

Beziehungen des erhöhten Blutdrucks zu physikalischen Zustandsänderungen des Blutes.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

AN DER

FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT
ZU BERLIN

vorgelegt von

Kurt Kleberger,
Assistenzarzt.

Tag der Promotion: 25. April 1916.

Berlin 1916.
Druck von L. Schumacher, N. 4.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät der Universität Berlin.

Dekan: Geh. Med.-Rat Prof. Dr. Heffter.
Referent: Prof. Dr. Brugsch.
Korreferent: Geh. Med.-Rat Prof. Dr. Czerny.

MEIS ET AMICIS.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/ueberdiebeziehun0000kurt

Man kann sich nach Nicolai (Die Mechanik des Kreislaufs in Nagel's Handbuch der Physiologie des Menschen) den Blutdruck nach den verursachenden Kräften in drei Teile zerlegt denken:

1. den hydrostatischen, d. i. den durch die Schwere der Flüssigkeitssäule bedingten Druck;
2. den durch Einwirkung von aussen erzeugten Druck (den hydraulischen Druck);
3. den hydrodynamischen Druck, d. i. die Summe der kinetischen Energie, die durch die in Bewegung versetzte Flüssigkeitsmasse auf andere Massen ausgeübt wird.

Der hydrodynamische Druck fällt bei Betrachtung der Verhältnisse des Körperkreislaufs wenig ins Gewicht, da die kinetische Energie des in Bewegung befindlichen Blutes sehr gering ist im Verhältnis zu den anderen, den Blutdruck beeinflussenden Faktoren.

Der hydrostatische Druck hat einen gewissen Einfluss auf die Druckverhältnisse. Man muss ihn, je nach den Bedingungen der Untersuchung, in die Berechnung einbeziehen.

Die wichtigste Komponente ist der hydraulische, der durch die Tätigkeit des Herzens erzeugte Druck. Das Herz wirft Blut in die Arterien. Dadurch müssen die Arterienwände, da sie nicht starre Röhren sind, in Spannung versetzt werden. So bezeichnen wir denn nach Nicolai als Blutdruck die vom Herzen erzeugte, durch das Blut übertragene Wandspannung der Arterien. Diese wird bedingt durch die Elastizität der Gefässwandung, das heisst ihren Gehalt an elastischen Fasern und den Tonus ihrer Muskulatur und durch den Füllungszustand der Arterie. Dieser hängt ab von der Menge des vorhandenen Blutes und dem Verhältnis zwischen Zufluss und Abfluss. Für den Zufluss ist das Schlagvolumen und die Frequenz des Herzschlags massgebend, für den Abfluss der Widerstand, den das Blut in den kleinen Gefässen und Kapillaren findet, und der durch stärkere oder geringere Konsistenz des Blutes vermehrt bzw. vermindert wird.

Da der Blutdruck im menschlichen Körper von so vielerlei Faktoren abhängig ist, so muss er durch die Verrichtungen und Einwirkungen des täglichen Lebens dauernden Schwankungen unterworfen sein. Diese entfernen sich aber häufig nur in so geringen Grenzen vom mittleren Druck, dass sie mit den zur Verfügung stehenden relativ ungenauen Apparaten nicht immer festzustellen sind. Aber man kann doch auch bei ganz gesunden Menschen Einwirkungen beobachten. So machte Geisböck (Die Bedeutung der Blutdruckmessung für die Praxis. Deutsches Archiv für klin. Med., Bd. 83) Versuche an jugendlichen, gesunden Personen im Alter bis 29 Jahren und fand z. B., dass Hantelheben (1 kg) bis 110mal ausgeführt, einen Blutdruckanstieg um 25 mm erzeugte. Dieser blieb während der Arbeitszeit auf gleicher Höhe, um nach Schluss derselben innerhalb 1—2 Minuten zum Ausgangswert zurückzukehren. Die Atmung war dabei ruhig, die Pulszahl unter 100 geblieben.

Treppensteigen (30 Stufen) in mässigem Tempo steigerte den Blutdruck um 5—10 mm, bei etwas erregbaren Menschen um 20 mm. Der Blutdruckabfall erfolgte wie beim Hantelheben.

Kühle Bäder von 29—30° C riefen eine allgemeine Steigerung des Blutdrucks um 10—20 mm hervor. So wird überhaupt von den verschiedensten Autoren übereinstimmend angegeben, dass Kältereiz erhöhend auf den Blutdruck einwirkt, was Geisböck bei Untersuchung von Typhuskranken, die am Schlusse eines Bades mit kalten Uebergiessungen behandelt wurden, bestätigen konnte. Er beobachtete Steigerungen um 25—20 mm dabei. Regelmässig trat auch eine Steigerung ein nach Auflegung einer Eisblase auf das Abdomen. Da durch den hierdurch ausgeübten Reiz auf das Splanchnikusgebiet einer starken Füllung desselben entgegengearbeitet wird, so ist die blutdrucksteigernde Wirkung hierbei leicht verständlich. Auch der Genuss von Tabak, Alkohol, Kaffee, Tee erwirkt schon bei gesunden Menschen, wenn in grösseren Mengen eingenommen, messbare Blutdrucksteigerungen.

Bei krankhaften Zuständen beobachten wir oft erhebliche Abweichungen von dem normalen Verhalten.

Bei leichten Kreislaufstörungen hat körperliche Tätigkeit ein stärkeres Ansteigen des Blutdrucks bis auf das Doppelte und Dreifache zur Folge. Der Blutdruck geht aber bei Ruhe wieder auf seinen normalen Wert zurück. Sind die Kreislauforgane stärker angegriffen, so steigt der Blutdruck schon bei allergeringster Bewegung, wie Aufsitzen im Bett unter Atemnot und Müdigkeit stark an, fällt in der Ruhe dann zuerst bis unter die Norm ab, um sich dann auf seinen mittleren Wert wieder einzustellen.

Sind die Kreislauforgane noch stärker gestört, so tritt bei Bewegungen statt der erwarteten Blutdrucksteigerung eine Senkung des Druckes schon während der Arbeit auf. Atemnot, Pulszahl, Ermüdung wachsen dabei. Diese Zustände werden beim gesunden Menschen nur nach vorausgegangenen starken Exzessen beobachtet und verlieren sich, sobald die Nachwirkungen des Exzesses überwunden sind.

Besonders auffällig treten sie in Erscheinung bei Menschen mit funktionellen Herzerkrankungen, die häufig aus Familien stammen, in denen nervöse und organische Herzaffektionen mehrfach nachzuweisen

sind. Bei ihnen kann man ausser der gesteigerten Pulsfrequenz gewöhnlich eine übermässig starke Erhöhung des Blutdrucks bei körperlicher Tätigkeit feststellen. Die Steigerung des Drucks tritt aber nicht nur bei Anstrengungen, sondern auch im Verein mit höherer Pulszahl bei psychischen Erregungen auf, wie auch nach Aufnahme mancher Nahrungs- und Genussmittel. So wurden bei manchen Patienten nach Fleischgenuss starke Steigerungen des Blutdrucks im Verein mit unangenehmen Sensationen in der Magengegend beobachtet, die bei fleischfreier Ernährung ausblieben. Auch Kaffee, Nikotin und Alkohol wirken bei solchen „nervösen" Menschen in gleichem Sinne. Bei dieser Gruppe von Patienten findet man auch neben solchen, bei denen der Blutdruck in der Ruhe sehr bald wieder zu seinem mittleren, normalen Wert zurückkehrt, auch vereinzelte Fälle, bei denen ohne irgendwelche nachweisbaren objektiven Krankheitserscheinungen der Druck sich dauernd erhöht zeigt, ein Zustand, der den betreffenden Menschen natürlich zu lebhafterer körperlicher oder geistiger Tätigkeit unfähig macht.

Auch bei den organischen Herzfehlern, sowohl bei den Muskel- als den Klappenerkrankungen, finden wir stärkere Schwankungen des Blutdrucks. Hierbei findet man besonders hohe Blutdruckwerte bei den Fällen, die Kompensationsstörungen aufweisen. Bedeutende Steigerungen wurden namentlich dann gefunden, wenn allgemeines Oedem und starke Cyanose und Dyspnoe vorlagen (Geisböck). Wenn die Oedeme zum Schwinden gebracht werden, so sinkt gewöhnlich der Blutdruck. Dies findet vielleicht darin seine Erklärung, dass durch das Oedem die kleinsten, feinwandigen Arterien und die Kapillaren komprimiert werden, wodurch die Widerstände für den Blutumlauf stark vermehrt werden. Für diese Auffassung spricht auch der Umstand, dass bei solchen Fällen durch Punktion des Aszites ein starkes Sinken des Druckes zu beobachten ist. Die Flüssigkeitsmenge im Abdomen komprimiert das für die Blutdruckregulierung so ungemein wichtige Splanchnikusgebiet. Nach ihrem Ablassen wird viel Blut in dieses einströmen und dadurch der Blutdruck eine Verminderung erfahren.

Während wir bei Kompensationsstörungen bei Herzfehlern die Ursache der Aenderung des Blutdrucks in der direkten Einwirkung der in die Gewebe oder in die Körperhöhlen transsudierten Flüssigkeit gesehen haben, finden wir bei den Infektionskrankheiten, akuten und chronischen, als Grund für die Blutdruckveränderung die Einwirkung des schädigenden Giftes auf die Vasomotorentätigkeit. Im allgemeinen wirkt eine schwere Infektion lähmend auf das Vasomotorenzentrum, damit also blutdrucksenkend. Diese Wirkung kann aber durch andere Begleiterscheinungen ausgeglichen, ja überkompensiert werden.

Bei der Tuberkulose hält sich der Blutdruck meistens an den unteren Grenzen des Normalen, sinkt häufig tiefer und hat sehr wenig Neigung zu steigen. Selbst Einwirkungen, wie stärkere Atemnot, Nephritis und andere, die bei nicht tuberkulösen Individuen zu lebhaften Drucksteigerungen zu führen pflegen, verlieren dabei häufig ihre Wirkung. So teilt Geisböck den Fall einer tuberkulösen Patientin mit einem zwischen 70 und 85 schwankenden Blutdruck mit, die nach Eintreten eines Pneumo-

thorax zwar eine beträchtliche Aenderung der Puls- und Atmungsfrequenz, aber keine Erhöhung des Blutdrucks aufwies. Nur bei intensivem Hustenreiz und starker Erregung nach längerer Untersuchung fand er in einzelnen Fällen einen Druck bis 105 und 110 mm Maximaldruck in sitzender Haltung. Auch die bei Tuberkulose so häufige Pulsbeschleunigung verursacht im Gegensatz zu anderen Krankheiten keine Erhöhung des Drucks. So kommen wir zu der Auffassung, dass die Blutdrucksenkung bei der Tuberkulose durch toxische Einflüsse auf die Vasomotoren bedingt ist, die von so erheblicher Bedeutung sind, dass Zustände des Körpers, die sonst eine entgegengesetzt gerichtete Einwirkung besitzen, ohne den erwarteten Erfolg bleiben.

Auch bei der Pneumonie wird neben der Herzkraft sehr häufig die Vasomotorentätigkeit stark in Mitleidenschaft gezogen. Aber wir sehen bei dieser Krankheit kein so allgemeines Sinken des Blutdrucks wie bei der Tuberkulose. In vielen Fällen ist sogar eine deutliche Blutdrucksteigerung feststellbar. Die Ursache für dies ungleichmässige Verhalten können wir vielleicht in der Drucksteigerung durch die in verschiedenem Grade bestehende Schweratmigkeit und Pulsbeschleunigung finden, vielleicht auch zum Teil darin, dass Pneumonien durch verschiedene Erreger, die wohl auch einen verschiedenen Einfluss auf das Vasomotorenzentrum ausüben, hervorgerufen werden.

Ueber den Stand des Blutdrucks beim Typhus abdominalis haben verschiedene Autoren verschiedene Angaben gemacht. Im allgemeinen findet man wohl aber einen erniedrigten Blutdruck. Sinkt der Blutdruck sehr tief, so treten die Zustände ein, in denen die Störungen des Kreislaufes das ganze Krankheitsbild beherrschen und die prognostisch sehr ungünstig zu beurteilen sind. Die blutdrucksteigernde Wirkung kalter Uebergiessungen und der Applikation einer Eisblase auf das Abdomen, die gerade beim Typhus erprobt worden ist, habe ich oben schon erwähnt.

Am auffälligsten und daher auch am meisten untersucht sind die Blutdruckverhältnisse bei den Nierenerkrankungen, hauptsächlich den chronischen. Bei den akuten, hämorrhagischen Nephritiden hat man in der Mehrzahl der Fälle einen gesteigerten Blutdruck gefunden. Und zwar begann die Steigerung sehr bald nach Einsetzen der Albuminurie, um nach einigen Tagen ihren Höhepunkt zu erreichen. So beschreibt Neu (Experimentelle und klinische Blutdruckuntersuchung. Dissertation. Heidelberg 1902) einen Fall, bei dem er bald nach Beginn der Erkrankung einen Maximaldruck von 180 mm Hg fand. Durch heisse Bäder und Aspirin wurde reichliches Schwitzen hervorgerufen. Dabei sank mit zunehmender Besserung der Druck allmählich auf 105—110 mm ab. In dem anderen von ihm beschriebenen Fall sank der Druck von 137 auf 95—110 mm ab. Auch bei manchen durch Infektionen, wie Scharlach, Influenza, hervorgerufenen, akuten Nierenerkrankungen kann fast regelmässig eine Blutdruckerhöhung festgestellt werden, die mit zunehmender Besserung wieder verschwindet.

Die höchsten Blutdruckwerte, manchmal über 200 mm bis zu 250 mm, kommen bei der chronischen Nephritis, hauptsächlich bei den verschiedenen Formen der Schrumpfniere zur Beobachtung. Die daran Leiden-

den zeigen meistens sehr stark ausgeprägte Veränderungen des Zirkulationsapparates: drahtharten Puls und Hypertrophie des Herzens, klinisch nachweisbar, besonders am linken Ventrikel. Dabei macht man immer wieder die Beobachtung, dass Einflüsse, die sonst den Druck vermindern, bei diesen Patienten entweder ganz ohne Wirkung bleiben, oder dass die erzielte Senkung des Drucks doch bald wieder verschwindet. Während der gesunde Körper sonst immer in der Ruhe zu seinem normalen mittleren Blutdruck zurückkehrt, so sind Patienten mit chronischer Nephritis auf einen höheren Druck eingestellt, den sie trotz therapeutischer Massnahmen, Schwitzen, Aderlässen usw. wieder zu erreichen suchen. Der hohe Blutdruck gehört so zum Wesen der chronischen, interstitiellen Nephritis, dass in diagnostisch zweifelhaften Fällen ein höherer Arteriendruck sehr zugunsten einer Nephritis spricht.

Bei der Arteriosklerose ist der Blutdruck nicht so regelmässig erhöht wie bei der chronischen Nephritis. Zwar kommen sehr viele Fälle zur Beobachtung, in denen der Blutdruck ganz erheblich (bis 200 und 220 mm Hg) gesteigert ist. Daneben gibt es aber wieder Fälle, bei denen deutliche arteriosklerotische Veränderungen nachzuweisen sind, die dabei einen ganz normalen Blutdruck besitzen. Auffällig ist der Befund, dass öfter ein normaler Blutdruck vorkommt bei Kranken, bei denen nachher die Sektion ausgedehnte sklerotische Veränderungen der Aorta ergibt. Es scheint daher der Zustand der Aorta nicht von allzu grossem Einfluss auf die Höhe des Blutdrucks zu sein. Vielmehr kann man sich nicht der Ansicht verschliessen, dass in erster Linie eine Verengerung der kleinsten Arterien durch atheromatöse Prozesse dauernde starke Veränderungen des Blutdrucks hervorrufen kann. Jedoch sind diese relativ häufigen Befunde des erhöhten Blutdrucks im Verein mit ausgedehnten endarteriitischen Veränderungen der kleinen Arterien keineswegs eindeutig. Denn es scheint auch nicht unwahrscheinlich, dass in manchen Fällen der erhöhte Blutdruck das Primäre ist, durch dessen dauernde Einwirkung es sekundär zu den Veränderungen der feinen Gefässintima kommen kann. Dafür spräche die Erfahrung, dass bei nervös überreizten Menschen nach langdauernden vasomotorischen Erregungszuständen sich häufig schon in relativ jungen Jahren ausgedehnte arteriosklerotische Veränderungen einstellen. Daraus kann man auch den Schluss machen, dass sich eine Arteriosklerose, wenigstens in einer Anzahl von Fällen, als Folge von dauernden Blutdrucksteigerungen entwickelt. Das würde auch das häufige gemeinsame Vorkommen von chronischer Nephritis und Arteriosklerose erklären. Bei chronischer Nephritis steigt, wie wir gesehen haben, der Blutdruck, und durch diese Steigerung werden atheromatöse Prozesse an den kleinen Gefässen erzeugt.

Eine Krankheit, bei der wir in sehr vielen Fällen neben den charakteristischen Symptomen eine Steigerung des Blutdrucks sehen, ist die Polyzythämie. Sie tritt meistens erst bei Menschen auf, die das 40. Lebensjahr überschritten haben, und ist charakterisiert durch das auffallend rote, gedunsene, von zahlreichen sichtbaren Gefässchen gezeichnete Gesicht, verbunden mit Vergrösserung des Herzens, mitunter mit Arteriosklerose. Früher wurde dieses Krankheitsbild Plethora vera genannt.

Ob es sich tatsächlich um eine Vermehrung der gesamten Blutmenge handelt, konnte mangels genügend zuverlässiger Untersuchungsmethoden nicht bestimmt festgestellt werden. Man kann diese Vermehrung wohl aber für viele Fälle annehmen. Die Veränderung, die sich in dem Blut feststellen lässt, ist Erhöhung des Hämoglobingehalts, verbunden mit einer oft recht beträchtlichen Steigerung der Zahl der roten Blutkörperchen auf 10—12 Millionen im Kubikmillimeter, ja in seltenen Fällen noch darüber. Der Urin weist häufig Spuren von Eiweiss auf. Die Patienten klagen gewöhnlich über Kopfschmerz, Schwindel, Wallungen zum Kopf, Schlaflosigkeit. Bei alledem besteht häufig ein Blutdruck von 150, 160, aber auch bis 250 mm. Da diese Druckerhöhungen bei der Krankheit so häufig sind, müssen wir irgend einen kausalen Zusammenhang annehmen. In Tierexperimenten fand man, dass durch künstliche Erhöhung des Blutdrucks sich eine Vermehrung der roten Blutkörperchen einstellte. Aber der daraus gezogene Schluss, dass bei der Polyzythämie die Vermehrung der roten Blutkörperchen die Folgeerscheinung des gesteigerten Druckes sei, ist wohl doch nicht zu verwerten, da ein hoher arterieller Druck häufig mit völlig normaler Erythrozytenzahl, ja in vielen Fällen, wie besonders den chronischen Nephritiden, sogar mit erheblich verminderter Erythrozytenzahl einhergeht. Einleuchtender ist die entgegengesetzte Anschauung, dass die bei der Polyzythämie notwendig vermehrte Konsistenz des Blutes durch verstärkte Reibung sekundär die Blutdrucksteigerung erzeugt. Aber auch gegen diese Theorie sprechen gewichtige Gründe. Denn es gibt Fälle sehr stark ausgeprägter Polyzythämie ohne jede Steigerung des Blutdrucks, und Geisböck beschreibt sogar einen Fall, bei dem eine Polyzythämie mit einer Erythrozytenzahl von 8400000 mit den charakteristischen subjektiven Beschwerden bei einem Blutdruck von 60—70 mm Hg bestand. So kann also die Blutdrucksteigerung nicht die direkte Folge der Polyzythämie sein.

Aus alledem ersehen wir, wie ungemein schwer es ist, in der Mehrzahl der Fälle einen Grund für eine Abweichung des Blutdrucks vom normalen anzugeben, und dass noch keine der vielen aufgestellten Theorien und Annahmen eine allgemein befriedigende Erklärung gegeben hat. Da das Symptom des erhöhten Blutdrucks aber schon an und für sich zu starken Störungen des Wohlbefindens und sekundären anderweitigen Störungen der Organe führt und führen muss, so wäre es von grossem Wert für die praktische, ärztliche Tätigkeit, wenn die Gründe für die Veränderungen aufgedeckt würden. Denn nur dann wäre man in der Lage, rationell gegen das Uebel vorzugehen oder noch besser seine Entstehung zu verhindern.

Zu diesem Zwecke sind auch die weiter unten mitgeteilten Untersuchungen angestellt worden, und zwar wurde von dem Gedanken ausgegangen, dass vielleicht das Blut selbst oder einzelne Bestandteile desselben Abweichungen von der Norm aufweisen müssten, durch deren Einwirkung es dann direkt oder indirekt zu einer Erhöhung des Blutdruckes käme. Für die Untersuchungen wurde von einer Reihe Patienten mit verschieden hohem Blutdruck Blut entnommen und auf verschiedene physikalische Zustandsformen, die osmotische Konzentration, die Viskosität

des Blutes im ganzen und speziellen des Serums und die Oberflächenspannung untersucht.

Die molekulare Konzentration des Blutes wird vom normalen, gesunden Körper unter allen Umständen gleichmässig festgehalten, wenigstens sind die Schwankungen verschwindend gering. Da durch dieselbe die osmotischen Vorgänge, die für den Säfteaustausch im Körper eine so überaus wichtige Rolle spielen, bedingt werden, so soll auf die Verhältnisse der Spannung von Lösungen und die Art ihrer Bestimmung hier näher eingegangen werden.

Wie zwei verschiedene Gase, die miteinander in Berührung kommen, ohne Einwirkung irgendwelcher äusseren Kräfte einander bis zur vollkommen gleichmässigen Mischung durchdringen, so ist bei im Wasser gelösten Stoffen nach den Gesetzen der Hydrodiffusion Aehnliches zu beobachten. Bringt man z. B. auf den Boden eines grösseren Gefässes ein kleines mit Kupfersulfatlösung gefülltes, das oben durch eine geschliffene Glasplatte dicht verschlossen ist, und füllt darauf das grosse Gefäss mit Wasser, so beobachtet man nach vorsichtiger Entfernung der Glasplatte des kleinen Gefässes, wie, ohne dass in dem Wasser von aussen eine Bewegung erzeugt wird und bei gleichbleibender Temperatur, die blaue, schwerere Kupfersulfatlösung sich mit dem Wasser vermischt und sich ganz gleichmässig bis zur Oberfläche desselben verteilt. Diese sogenannte Diffusion ist also eine ganz selbständige Vermischung der beiden Flüssigkeiten. Es tritt Wasser in das kleine Gefäss ein, und Kupfersulfatlösung aus diesem heraus. Es müssen also Kräfte in der Lösung vorhanden sein, die trotz deren Schwere ein Aufsteigen von Teilen bis zur Wasseroberfläche und eine absolut gleichmässige Vermischung hervorrufen.

Verschliesst man das kleine Gefäss durch eine durchlässige Scheidewand, z. B. eine Schweinsblase, so tritt auch eine Diffusion zwischen den beiden Flüssigkeiten ein, die als Membrandiffusion oder Osmose bezeichnet wird. Aber man kann jetzt im Gegensatz zur freien Hydrodiffusion beobachten, dass mehr Wasser in das kleine Gefäss eindringt, als Lösung herausgeht. Das ist daran zu erkennen, dass sich die Schweinsblase in das Wasser hinein vorwölbt, ja es kann zum Zerreissen derselben kommen. Der dabei zustande kommende Druck wird als osmotischer Druck der Lösung bezeichnet.

Ueber die Stärke des osmotischen Druckes können wir Aufschluss gewinnen, wenn wir statt der Schweinsblase, die für die Lösung durchgängig war, wenn auch nicht in gleichem Masse wie für Wasser, eine „halbdurchlässige“ oder „semipermeable“ Membran verwenden; diese Bezeichnung wird gebraucht für Membranen, die nur für Wasser, nicht für andere in Lösung befindliche Stoffe durchgängig sind. Pfeffer hat nach diesem Prinzip einen Apparat konstruiert, bei welchem eine durch auf besondere Art hergestellte, halbdurchlässige Membran verschlossene Zelle, die mit der Lösung voll gefüllt war, in Wasser gesetzt wurde. Der in ihr entstehende Druck wurde durch ein mit dem Innern in Verbindung stehendes Quecksilbermanometer gemessen. Er fand dabei, dass der osmotische Druck um so höher ist, je konzentrierter die Lösung ist und

— gleichbedeutend damit — eine je grössere Zahl von Molekülen in der Lösung enthalten ist. Ausserdem fand er, dass isomolekulare Lösungen verschiedener Stoffe den gleichen osmotischen Druck erzeugen. Dabei heissen Lösungen zweier Stoffe isomolekular, wenn die in 1 ccm enthaltenen Gewichtsmengen der beiden Stoffe im selben Verhältnis stehen wie ihre Molekulargewichte, mit anderen Worten, wenn sie dieselbe Anzahl von Molekülen enthalten. Isomolekulare Lösungen sind also „isotonisch", weil sie gleichen osmotischen Druck haben. Lösungen von verschiedenem osmotischen Druck heissen anisotonisch, wobei bei einem Vergleich diejenige mit höherem Druck die hypertonische, die mit niederem Druck die hypotonische Lösung genannt wird.

Es gibt nun mehrere in ihrer physikalischen und chemischen Wirksamkeit sich sehr voneinander unterscheidende Arten von Lösungen:

1. Sogenannte molekulardisperse Lösungen, bei denen sich der betreffende Stoff in Form ganzer Moleküle aufgelöst hat.
2. Ionendisperse Lösungen, bei denen die Zerteilung des Stoffes über die Molekülgrenze hinaus in Ionen, die Teilstücke der Moleküle, vor sich gegangen ist.
3. Kolloide Lösungen, bei denen die Einzelteilchen der gelösten Substanz noch als physikalisch vom Lösungsmittel abgrenzbar nachzuweisen sind. Infolge dieser Eigenschaft besitzen sie keinen Lösungsdruck und kommen daher für die Betrachtung der osmotischen Verhältnisse des Blutes nicht in Betracht.

Für die molekulardispersen Lösungen, deren Verhalten hauptsächlich bei Harnstoff- und Zuckerlösungen untersucht und erkannt worden ist, gelten in vielen Beziehungen dieselben Gesetze, von denen diese Substanzen abhängig wären, wenn sie als Gas in einem gleich grossen Raum eingeschlossen wären, wie der ihnen in der Lösung zur Verfügung stehende. Eine flüchtige Substanz sendet in einen begrenzten leeren Raum so lange Gas aus, bis der wachsende Gasdruck des Raumes der Vergasungstension das Gleichgewicht hält. Eine lösliche Substanz gibt so lange Teile an das Lösungsmittel ab, bis der zunehmende Lösungsdruck der Lösungstension das Gleichgewicht hält. Der Lösungsdruck, welcher auch als osmotischer Druck bezeichnet wird, erscheint somit in voller Parallele zum Gasdruck (H. Schade, Technik der medizinisch wichtigsten physiko-chemischen Untersuchungsmethoden in Brugsch-Schittenhelm, Technik der speziellen klinischen Untersuchungsmethoden, II. Teil). Wie bei den Gasen, denkt man sich auch bei den Lösungen die feinsten Teilchen des gelösten Stoffes in lebhafter Molekularbewegung. Denn bei den molekulardispersen Lösungen ist der zentrifugale Druck in der Flüssigkeit ebenso gross, wie der Gasdruck wäre, der entstände, wenn dieselbe Menge derselben Substanz in gleich grossem Raum als Gas vorhanden wäre. Während man aber den Gasdruck ohne Schwierigkeit an den Wänden des Raumes messen kann, so ist das bei dem Lösungsdruck nicht ohne weiteres möglich, da seiner Wahrnehmung ein starker entgegengesetzter Druck, der Binnendruck, der durch die gegenseitige Anziehung der Flüssigkeitsteilchen bedingt ist, im Wege steht. Und der osmotische Druck gerade der Körpersäfte, auf die es hier hauptsächlich

ankommt, ist verschwindend gering gegenüber dem Binnendruck der Flüssigkeiten. Daher sind besondere Methoden erfunden worden zur Bestimmung des osmotischen Druckes, deren Prinzip oben bei Beschreibung der Pfeffer'schen Versuchsanordnung schon mitgeteilt ist.

Dabei sehen wir also, dass molekulardisperse Lösungen einen osmotischen Druck besitzen, der durch die Molekularbewegung des gelösten Stoffes in der Lösung hervorgerufen wird. Reine Flüssigkeiten besitzen natürlich keinen osmotischen Druck, da in ihnen keine Molekularbewegung vorhanden ist. Wir haben schon oben gezeigt, dass die Art der gelösten Moleküle keinen Einfluss auf die Grösse des Druckes hat, sondern dass isomolekulare Lösungen auch isotonisch sind, und dass der Druck im selben Verhältnis wie die Konzentration des gelösten Stoffes wächst. Wenn mehrere Stoffe in der Flüssigkeit gelöst sind, so ist der osmotische Druck gleich der Summe der vorhandenen Einzeldrucke — vorausgesetzt, dass sich die Stoffe nicht gegenseitig chemisch beeinflussen. Es enthalten also auch alle isotonischen Lösungen eine gleich grosse Zahl gelöster Moleküle, einerlei ob diese von einer Substanz oder von mehreren zugleich ausgegangen sind.

Bei den mehrstofflichen Lösungen kommt aber unter Umständen nicht nur der osmotische Druck als Ganzes in Betracht, sondern auch die einzelnen Partialdrucke. Denn wenn auch bei zwei mehrstofflichen Lösungen der gesamte osmotische Druck gleich ist, so können doch die osmotischen Drucke der einzelnen in der Lösung wirksamen Molekülarten in beiden Lösungen verschieden hoch sein. Dieser Umstand hat keinerlei Einfluss auf das physikalische Verhalten, wenn die beiden Lösungen bei bestehender Gesamtisotonie durch eine semipermeable Membran getrennt sind, also durch eine Membran, die nur für Wasser durchgängig ist; dann werden keinerlei osmotische Vorgänge auftreten können, da ja für die Lösungen als Ganzes Isotonie besteht. Die Mehrzahl der praktisch in Betracht kommenden Membranen, also in erster Linie die Gefässwände des Körpers, sind aber so beschaffen, dass sie ausser Wasser auch noch andere, für verschiedene Membranen verschiedene, in Lösung befindliche Substanzen durchlassen. Unter diesen Umständen treten aber ausser der bei anisotonischen Lösungen sich einstellenden Diffusionsbewegung des Wassers auch noch die Partialdrucke der Stoffe, deren Moleküle durch die Membran hindurch zu diffundieren vermögen, in Erscheinung; dann muss erst zu beiden Seiten der Membran ein völliger Ausgleich der durch die Membran durchgängigen Substanzen eingetreten sein, ehe der osmotische Gesamtdruck dann das endgültige osmotische Gleichgewicht für die beiden Lösungen herstellen kann.

Bei den Lösungen mancher Stoffe, der Säuren, Basen und Salze, fand man, dass sie sich nicht den osmotischen Gesetzen der molekulardispersen Lösungen eingliederten, sondern dass der bei ihnen experimentell erhaltene osmotische Druck stets den ebenso wie für die molekulardispersen Lösungen berechneten Druck erheblich übertraf. Ausserdem machte man die Beobachtung, dass diese Art von Lösungen für den elektrischen Strom durchgängig ist, während diese Eigenschaft den molekulardispersen Lösungen fehlt. Arrhenius hat mit seiner Theorie

von der elektrolytischen Dissoziation die Erklärung für diese beiden auffallenden Erscheinungen gegeben. Er nahm an, dass sich die betreffenden Substanzen bei ihrer Auflösung in Wasser nicht nur bis zur Molekülgrenze lösten, sondern dass die Spaltung darüber hinausgehe. Dadurch kommt bei der Durchleitung eines elektrischen Stromes durch die wässrigen Lösungen ein Transport der Elektrizität zustande, indem die Spaltstücke als Kationen mit positiver, als Anionen mit negativer Elektrizität beladen die Lösung in entgegengesetzter Richtung durchwandern. Die bei der Lösung vor sich gehende Aufspaltung der Moleküle geht einher mit einer elektrischen Aufladung der Teilstücke, die Ionen genannt werden. Durch die Ionisation wird die Flüssigkeit leitfähig gemacht. Also kann man durch Messung der Leitfähigkeit ein Mass dafür bekommen, in welchem Masse die elektrolytische Dissoziation oder Ionisation vor sich gegangen ist. Im Wasser tritt die Dissoziation besonders stark in Erscheinung. Sie hängt sehr ab von der Menge des gelösten Stoffes. Je stärker die Konzentration ist, um so unvollständiger tritt Ionenbildung ein. Die Körperflüssigkeiten erreichen einen sehr hohen Grad von Ionisation, da sie stark verdünnte Lösungen darstellen. In ihnen ist die Ionisation fast vollständig. Man hat nun gefunden, dass die beobachtete Steigerung des osmotischen Druckes bei wässrigen Lösungen von Säuren, Laugen und Salzen durch die Wirkung der Ionen hervorgerufen wird und dass in Lösungen jedes Ion, was den osmotischen Druck anbelangt, einer Moleküleinheit völlig gleichwertig ist, so dass also die oben besprochenen osmotischen Gesetze in der Erweiterung auch für die ionendispersen Lösungen anzuwenden sind. Diese Theorie ist experimentell auf das Genaueste bewiesen durch die Beobachtung, dass derselbe Betrag, der beim osmotischen Druck gegenüber der molekularen Berechnung zuviel gefunden wird, sich regelmässig in entsprechender Höhe wiederfindet, wenn man das Mass der Ionisation durch Messung der elektrischen Leitfähigkeit bestimmt. Die Bestimmung des osmotischen Druckes gibt also das Mass der Gesamtteile in einer Lösung (Moleküle + Ionen) (H. Schade in Brugsch-Schittenhelm s. oben).

Um nun den osmotischen Druck einer Lösung praktisch zu bestimmen, kann man verschiedene Wege einschlagen. In erster Linie muss man an die oben beschriebene Druckmessung von Pfeffer denken, bei der die Wasserverschiebung durch eine halbdurchlässige Membran gemessen wird. Da es aber ungemein schwer ist, eine absolut zuverlässige, semipermeable Membran herzustellen, hat man bequemere und ebenso eindeutige Methoden gesucht. Es ist schon lange beobachtet worden, dass Lösungen erst bei tieferer Temperatur zum Gefrieren, bei höherer als die Temperaturen für das Lösungsmittel zum Sieden kommen und dass, je stärker die Lösungskonzentration, damit also auch der osmotische Druck ist, diese Werte sich weiter nach unten bzw. nach oben verschieben. Reines Wasser friert bei 0° und siedet bei 100°. Jede wässrige Lösung friert erst unterhalb 0° und siedet oberhalb 100°. Diese Abweichungen von 0° und 100° sind um so bedeutsamer, je stärker die Konzentration der Lösung ist, sie ist aber für verschiedene Lösungen mit gleicher Molekül- und Ionenzahl absolut gleich. Ausser-

dem geht diese Verschiebung des Gefrier- und Siedepunktes proportional zueinander und zu den verwendeten Konzentrationen vor sich. Weiter ist gefunden worden, dass genaue Proportionalität der auf diese Art und Weise gefundenen Werte zu den bei der Pfeffer'schen Methode erhaltenen besteht. Wir haben daher für die Praxis in der Bestimmung des Gefrierpunktes einer Lösung ein absolut einwandfreies, verhältnismässig bequemes Mittel, um ein Mass für die „molekulare Konzentration" oder den osmotischen Druck einer Lösung zu erhalten.

Die Erschwerung des Gefrierens also, die ein quantitatives Mass der gelöst vorhandenen Moleküle und Ionen gibt, wird gemessen durch das Temperaturintervall, um welches der Gefrierpunkt der Lösung niedriger gefunden wird als der Gefrierpunkt des reinen Lösungsmittels.

Zur Ausführung der Gefrierpunktsbestimmung wird meistens das Kryoskop von Beckmann benutzt. Der Apparat besteht aus einem mit einem Metalldeckel verschlossenen Standgefäss. Durch ein Loch in der Mitte des Deckels wird ein Glasgefäss eingesetzt, in welches durch einen durchbohrten Kork isoliert das Gefrierrohr hineingesteckt wird. Dieses nimmt die zu prüfende Lösung auf. Das Gefrierrohr selbst ist also von einem für den Temperaturausgleich wichtigen Luftmantel umgeben. Das Gefrierrohr ist oben durch einen doppelt durchbohrten Kork verschlossen, durch dessen grössere mittlere Oeffnung ein Thermometer, durch dessen kleineres Loch ein Rührer aus Platindraht geht, der die zu untersuchende Flüssigkeit in Bewegung halten soll. Das Thermometer, das unten in die Flüssigkeit taucht, ist sehr fein graduiert. Jeder Grad ist in 100 Teile zerlegt, und man kann bei Anwendung einer Lupe mit annähernder Sicherheit Temperaturen bis auf $^2/_{1000}{}^0$ bestimmen. In das Standgefäss kommt die aus Kochsalz und Eis bestehende Kältemischung, die durch einen besonderen Rührer gleichmässig verteilt werden kann. Ausserdem geht noch durch eine kleine Oeffnung des Deckels ein Impfstift in die Kältemischung. Die Gefrierpunktsbestimmung geht nun so vor sich, dass man nach Füllung des Standgefässes mit der nach bestimmten Vorschriften hergestellten Kältemischung das bis fast zum erwarteten Gefrierpunkt vorgekühlte Gefrierrohr mit der Lösung einsetzt. Die Temperatur sinkt nun langsam bis unter den Gefrierpunkt. Ist die Lösung genügend unterkühlt, so wird sie durch Hineinbringen eines Stückchens Eis mittelst des Impfstiftes plötzlich zum Gefrieren gebracht. Dabei steigt das Thermometer lebhaft an bis zum Gefrierpunkt der betreffenden Lösung. Vorher und zur grösseren Sicherheit auch nachher bestimmt man auf dieselbe Art den Gefrierpunkt der Flüssigkeit, in unserem Falle, wo Körpersäfte untersucht werden, also des destillierten Wassers. Die Differenz des Gefrierpunktes der Lösung von dem auf diese Weise gefundenen Nullpunkte ergibt die gesuchte Gefrierpunktserniedrigung.

Um nun die molekulare Konzentration des Blutes zu bestimmen, bedient man sich des defibrinierten Blutes oder, was in mancher Hinsicht empfehlenswerter und bequemer ist, des Blutserums. Blutplasma und Serum haben dieselbe molekulare Konzentration. Im allgemeinen ist der Blutgefrierpunkt ein auffallend konstanter, der ungefähr — 0,56° C be-

trägt. Die molekulare Konzentration ändert sich beispielsweise, wenn eine Retention von Stoffen bei insuffizienten Nieren stattfindet, wenn viel Flüssigkeit zurückgehalten wird oder wenn das Blut abnorm eingedickt wird.

Unter Viskosität verstehen wir die innere Reibung einer Flüssigkeit. Das Wesen derselben können wir uns an einem einfachen Versuch veranschaulichen. Hängen wir eine horizontale Glasscheibe an einem Draht so auf, dass sie mehrere Zentimeter in Glyzerin taucht und versetzen sie durch Drehung am oberen Drahtende, die sich auf die Scheibe überträgt, in Umdrehung, so sieht man, dass Korkstückchen, die oben auf dem Glyzerin schwimmen, allmählich in gleichsinnige Bewegung versetzt werden. Bei der Umdrehung der Scheibe werden die ihr anliegenden Flüssigkeitsteile mitgerissen. Sie reiben wieder an anderen Flüssigkeitsschichten und versetzen sie in gleichgerichtete Bewegung. So wird durch die innere Reibung die Bewegung bis zur Oberfläche auf die Korkstückchen übertragen. Alle Flüssigkeiten besitzen in stärkerem oder geringerem Grade diese innere Reibung. Ihre Grösse ist bei gleichen Bewegungsverhältnissen sehr verschieden. So ist sie bezogen auf Wasser, das gleich 1 gesetzt wird, nach Warburg (Experimentalphysik) für Olivenöl 87, für Glyzerin ungefähr 300.

Eine grosse Rolle spielt die Viskosität beim Durchtritt von Flüssigkeiten durch enge Röhren, Kapillarröhren. Die der Wand anliegende Schicht bleibt dabei ziemlich in Ruhe, während die Bewegungsgeschwindigkeit nach der Mitte, dem Axenfaden zu, stark zunimmt. Man kann sich diese in Bewegung befindliche Flüssigkeitsmasse in viele konzentrische Hohlzylinder zerlegt denken, die unter Reibung übereinander hingleiten. Je grösser dabei die Viskosität ist, umso langsamer muss die Bewegung der Flüssigkeit durch das Kapillarrohr vonstatten gehen. Diese Tatsache hat man benutzt, um Apparate zu konstruieren, die die Viskosität einer Flüssigkeit angeben, indem man entweder die Zeit feststellte, in der gleiche Mengen von Wasser und der zu untersuchenden Flüssigkeit durch dasselbe Kapillarrohr durchtraten, und dieselbe in Beziehung brachte, oder indem man bestimmte, wieviel von Wasser und der zu untersuchenden Flüssigkeit in derselben Zeit durch die Kapillaren floss.

Wenn wir von der Viskosität des Blutes sprechen, so verstehen wir darunter nicht nur die innere Reibung der Blutflüssigkeit, des Serums, sondern wir messen zu gleicher Zeit die innere Reibung des Plasmas in sich, der roten Blutkörperchen an einander und die Reibung derselben am Plasma. Die Viskosität des Blutes wird also in erster Linie bedingt durch die gelösten Bestandteile, durch die Zahl und das Volumen der Formelemente und durch die ständig wechselnden Einflüsse des Gasgehaltes. Osmotische Konzentration und vor allem die Formelemente wirken natürlich erheblich viskositätssteigernd, während der Gasgehalt verschieden wirkt und zwar wohl in dem Sinne, dass die Kohlensäure die Viskosität steigert, indem sie eine Abwanderung von Chlorionen und Wasser aus dem Blut und indem sie eine Vermehrung der Formelemente des Blutes veranlasst. Sauerstoffgehalt des Blutes macht die Viskosität geringer (Determann u. Weil, Untersuchung über Viskosität und Gasgehalt des mensch-

lichen Blutes, Zeitschr. f. klin. Med., Bd. 70, H. 5 u. 6 und Determann, Die Viskosität des menschlichen Blutes, Wiesbaden 1910). Durch den Wechsel im Gasgehalt ist daher schon beim Gesunden ein nicht unerheblicher Wechsel in der Viskosität erklärlich. Durch ihre Messung erhalten wir einen Anhaltspunkt über den Widerstand, den das Blut seiner Durchtreibung durch die Kapillargefässe entgegensetzt. Dabei müssen wir erwarten, dass die Steigerung der Viskosität mit Verlangsamung der Zirkulation, oder bei gleichbleibender Strömungsgeschwindigkeit mit Erhöhung des Blutdrucks einhergehen muss. Abnahme der Viskosität würde eine Beschleunigung der Zirkulation bei sonst gleichbleibenden Bedingungen hervorrufen.

Zur Messung der inneren Reibung des Blutes gibt es verschiedene Apparate, denen allen aber noch mehr oder weniger grosse Mängel anhaften. Der beste ist wohl der neue Apparat von Determann (Determann, Demonstration eines neuen Viskosimeters. Kongress für innere Medizin 1911). Mit diesem sind auch unsere Versuche angestellt worden. Er besteht aus einem Glaszylinder, der zu den Untersuchungen, um bei allen Messungen gleiche Temperaturverhältnisse zu erzielen, mit Wasser von 20° C gefüllt wird. In dem Zylinder befinden sich zwei gleichartige Glasröhrchen, die die zu vergleichenden Flüssigkeitssäulen aufnehmen. Diese fliessen durch zwei nebeneinander befindliche Kapillaren von gleicher Länge und gleichem Kaliber. Die Kapillaren münden in Ansatzröhrchen mit Zentimeterskala. In das nichtkalibrierte Ende des einen Röhrchens wird Blut, in das des anderen Röhrchens Wasser eingesaugt, beides etwa bis zum Beginn der Kapillaren. Dazu wird etwa 0,1 ccm Blut benötigt. Man kann das Blut durch Einstich in das Ohrläppchen gewinnen. Bei unseren Versuchen ist es mit einer Spritze aus der Armvene entnommen worden, nachdem der Spritzenstempel mit Hirudin zur Verhütung der Gerinnung beschickt worden war. Beim Neigen des Apparates durchströmen die zu vergleichenden Flüssigkeiten durch die Schwere als treibende Kraft die Kapillaren und man bestimmt an der Skala, wieweit das Wasser geflossen ist, bis die andere Flüssigkeit bei Teilstrich 1 angekommen ist. So ist also der Wert der Viskosität immer relativ, bezogen auf Wasser.. Die Viskositätswerte für das menschliche Blut schwanken in der Norm in ziemlich grossen Grenzen. So fand Determann (Klinische Untersuchungen über die Viskosität des menschlichen Blutes, Zeitschr. f. klin. Med., 1906, Bd. 59) bei Untersuchung von 29 Fällen Schwankungen von 4,05—5,54, Bence (Zeitschr. f. klin. Med., Bd. 58) fand in 27 Fällen Werte von 4,37—5,80. Die Viskosität des Serums wird durch das Fehlen der Formelemente erheblich geringer gefunden. Kottmann (zit. von H. Schade, s. oben) fand sie zwischen 1,52—2,89. Wir sehen also, wieviel die viskosimetrischen Werte schon normalerweise auseinandergehen. Man wird daher aus der Viskometrie bei einzelnen Krankheitsfällen keine bestimmten Schlüsse ziehen dürfen, sondern höchstens aus einem grösseren Material.

Die in der Oberfläche einer Flüssigkeit wirkende Spannung wird Oberflächenspannuug genannt. Sie zeigt sich deutlich an grossen Flüssigkeitstropfen in dem Bestreben, die Oberfläche nach Möglichkeit zu verkleinern,

indem sie der Masse Kugelgestalt gibt. Sie wird verursacht durch den Binnendruck der Flüssigkeit, der durch die im Innern der Flüssigkeit wirkende gegenseitige Anziehung der Moleküle bedingt ist. Ihre hauptsächlichste Energie entfaltet sie bei in Strömung befindlichen Flüssigkeiten besonders dann, wenn das Stromgebiet sehr eng und verzweigt ist. Sie ist z. B. die Ursache für die durch Fettembolie bewirkte Verschliessung des Gefässgebietes, die nach Knochenbrüchen so häufig beobachtet wird. Es schwimmen dabei Tröpfchen flüssigen Fettes im Blut. Wenn diese an die Gabelung sehr feiner Gefässe kommen, erlaubt ihre Oberflächenspannung nicht, dass sie sich teilen und in die Teiläste weiterfliessen, sondern kugelig zusammengeballt verschliessen sie das Gefässlumen. Die Oberflächenspannung unterscheidet sich also sehr von der Viskosität, ja wird sogar vielfach durch Stoffe, die die innere Reibung erhöhen, herabgemindert. Ein ungefähres Mass der Oberflächenspannung einer Flüssigkeit gibt die Schaumfähigkeit derselben. Je leichter eine Flüssigkeit schäumt und je länger sie den Schaum hält, um so geringer muss ihre Oberflächenspannung sein.

Von den verschiedenen Apparaten, die zur Messung der Oberflächenspannung angegeben sind, haben wir das Stalagmometer nach Traube wegen seiner Einfachheit und Zuverlässigkeit zu unseren Untersuchungen benutzt. Es besteht aus einer Glasröhre, die an einem Stativ senkrecht befestigt wird. Die Glasröhre besitzt in der Mitte eine Ausbuchtung von bestimmtem Volumen und trägt oberhalb und unterhalb derselben eine feine Skala. Nach unten endet sie in einer plangeschliffenen, kreisrunden Fläche, die als Haftfläche für die Tropfen dient. Gemessen wird bei einer Temperatur von 20° C die Zahl der Tropfen, die sich, nachdem die Röhre bis zur oberen Marke mit der betreffenden Flüssigkeit gefüllt ist, langsam von der Haftfläche loslösen. Auf der Glasröhre ist die Zahl der bei derselben Temperatur sich von der Haftfläche loslösenden Tropfen reinen, destillierten Wassers eingraviert, so dass man ohne weiteres die gefundene Zahl zu dieser angegebenen in Verhältnis setzen kann. Dabei erlaubt die eingravierte Skala noch ein annähernd genaues Bestimmen der Flüssigkeit bis auf 0,05 Tropfen. Um nun bei der verschiedenen Eichung der Apparate übereinstimmende, vergleichbare Werte zu erhalten, führt man die Berechnung auf Wasser als Einheit durch. Ist Z die Tropfenzahl für die untersuchte Flüssigkeit und Zw die auf dem Stalagmometer angegebene Tropfenzahl für Wasser, so gibt $\frac{Z \cdot 100}{Zw}$ die Tropfenzahl für die Flüssigkeit, bezogen auf ein „Normalstalagmometer“, welches bei reinem Wasser 100 Tropfen entstehen lässt. Je grösser die Zahl der Tropfen gefunden wird, um so kleiner ist die Oberflächenspannnng der betreffenden Lösung; denn dieselbe ist die Kraft, die den wachsenden Tropfen entgegen der Schwere hindert abzufallen. Olivenöl, Alkohol, Chloroform und viele andere Flüssigkeiten haben eine viel geringere Oberflächenspannung als Wasser. Manche Zusätze, z. B. die Mehrzahl der anorganischen Salze, erhöhen die Oberflächenspannung desselben, andere vermindern sie. Beim Serum des Blutes ist sie viel geringer als beim Wasser. So fand J. Traube beim Gesunden 109—112 „Normaltropfen“.

Nachdem wir nun die physikalischen Eigenschaften von Lösungen und besonders von normalem Blut, die osmotische Konzentration, die Viskosität und die Oberflächenspannung, betrachtet haben, wollen wir untersuchen, ob sich in dem Blut von Menschen mit erhöhtem Blutdruck in dieser Beziehung irgendwelche häufiger zu beobachtenden Aenderungen vorfinden, die u. U. einen Fingerzeig zur Erkennung der wahren Ursachen für dauernde Blutdrucksteigerung geben könnten. Zu dem Zweck haben wir von einer Reihe Patienten, die eine derartige Aenderung ihres Blutdrucks aufwiesen, aus der Armvene je 30 ccm Blut entnommen. Dies haben wir mit Hilfe der oben beschriebenen Methoden und Apparate auf physikalische Zustandsänderungen untersucht. Zum besseren Verständnis der Besonderheiten jedes einzelnen Falles ist es wohl angebracht, der Mitteilung des Ergebnisses der Untersuchungen eine kurze Beschreibung ihres Krankheitszustandes voraufgehen zu lassen. Die Reihenfolge wählen wir so, dass wir mit Beschreibung des Befundes bei dem Patienten mit niedrigstem Blutdruck beginnen, um mit der des höchsten Blutdruckes zu enden.

Krankengeschichten.

1. E. R., Fabrikbesitzer, 36 Jahre, Alkohol- und Nikotingenuss in geringem Masse. 1899 im Anschluss an Gonorrhoe ein Nierenleiden, das 1 Jahr lang behandelt wurde. 1900 Lues. Ausser Primäraffekt nie sichtbare Erscheinungen. 3—4 Schmierkuren. 1905 akut auftretende Nephritis ohne Schmerzen in der Nierengegend. Im Laufe der folgenden Jahre öfter Gelenkverdickungen. Eiweiss seitdem 1—2 pM. 1912 Salvarsankur, da Wassermann'sche Reaktion positiv. Jetzt wieder Gelenkschwellungen. Eiweiss $1^1/_2$ pM. Im Harnsediment Leukozyten und hyaline Zylinder. Der Patient befindet sich in sehr schlechtem Ernährungszustand, kann nicht gehen, Herz nach links verbreitert. 2. Aortenton laut.

Blutdruck 100/80 mm Hg.
Gefrierpunkt des Blutes —0,567.
Viskosität des Blutes 4,1, des Serums 1,8.
Oberflächenspannung: 108,3 Normaltropfen.

2. F. K., Pförtner, 57 Jahre alt, geringer Alkohol- und Nikotingenuss. 1898 Schanker. Danach Spritzkur. 1904 Nierenentzündung. Nach 4 Wochen gesund. Seit etwa 1 Jahr Beschwerden von Angina pectoris. Sehr dicker Mann mit arhythmischem Puls von 102 Schlägen. Im Urin nichs Besonderes.

Blutdruck 142/114 mm Hg.
Gefrierpunkt des Blutes —0,560.
Viskosität des Blutes 6,3, des Serums 2,0.
Oberflächenspannung: 110,4 Normaltropfen.

3. Dr. A., Arzt, 40 Jahre alt. Sehr erheblicher Nikotingenuss. Mehrere Jahre alimentäre Glykosurie. Häufige Halsentzündungen. Kürzlich nach Erkältung aufgedunsenes Gesicht, Oedeme an den Füssen. Im Urin viel Eiweiss, das nach einer Liege- und Diätkur und nach Tonsillektomie bis auf Spuren verschwindet.

Blutdruck 150/130 mm Hg.
Gefrierpunkt des Blutes —0,586.
Viskosität des Blutes 4,6, des Serums 2,1.
Oberflächenspannung: 108 Normaltropfen.

4. R. S., Handlungsgehilfe, 56 Jahre alt, kein Alkohol- und Nikotinmissbrauch. 1911 arteriosklerotische Erscheinungen, Schwindelanfall und leichte Ermüdung des

linken Beines. Seit Juni 1915 Schmerzen im Leib. Lebervergrösserung mit Aszites und starker Gewichtsabnahme. Im Urin nichts Besonderes.

Blutdruck 150/130 mm Hg.
Gefrierpunkt des Blutes —0,562.
Viskosität des Blutes 5,7, des Serums 2,3.
Oberflächenspannung: 108,8 Normaltropfen.

5. J. S., Arbeiter, 70 Jahre alt. Kein Nikotin-, jedoch ziemlich starker Alkoholmissbrauch. Seit Juni 1915 Stiche auf der Brust und Atemnot. Untere Lungengrenzen stehen tief, Emphysemthorax mit Schachtelton. Im Urin wenig Eiweiss, einige hyaline Zylinder. Tastbare Arterien hart. Am Herzen leichte systolische Geräusche.

Blutdruck 160/140 mm Hg.
Gefrierpunkt des Blutes —0,559.
Viskosität des Blutes 6,5, des Serums 1,9.
Oberflächenspannung: 106,5 Normaltropfen.

6. O. S., Tischler, 50 Jahre alt. Erheblicher Alkoholgenuss. Seit einigen Wochen allmählich zunehmende Oedeme. Ernährungszustand sehr schlecht. Leber stark vergrössert und hart. Auch Milz vergrössert. Abdomen fassförmig mit mässigem Aszites und Kollateralkreislauf. An den Beinen Oedeme.

Blutdruck 170/140 mm Hg.
Gefrierpunkt des Blutes —0,558.
Viskosität des Blutes 3,6, des Serums 1,6.
Oberflächenspannung: 107,3 Normaltropfen.

7. O. K., Barbier, 56 Jahre alt. Sehr starker Alkohol- und Nikotingenuss. Pat. wird wegen einer Hemiplegie in benommenem Zustand eingeliefert. Im Urin Spuren von Eiweiss und eine grössere Zahl hyaliner Zylinder.

Blutdruck 185/170 mm Hg.
Gefrierpunkt des Blutes —0,576.
Viskosität des Blutes 4,8, des Serums 2,0.
Oberflächenspannung: 108,3 Normaltropfen.

8. M. G., Beamtenfrau, 58 Jahre alt. Seit September 1915 häufig Schmerzen im linken Bein, so dass sie nicht gehen konnte. Kurz vor Weihnachten Erwachen mit gelähmter linker Körperseite. Herz nach beiden Seiten vergrössert. Tätigkeit unregelmässig. Im Urin wenig Eiweiss, keine Zylinder.

Blutdruck 190/125 mm Hg.
Gefrierpunkt des Blutes —0,560.
Viskosität des Blutes 5,8, des Serums 1,6.
Oberflächenspannung: 106 Normaltropfen.

Der besseren Uebersicht wegen stellen wir die Resultate der Untersuchungen in nachstehender Tabelle zusammen.

Nr.	Blutdruck	Gefrierpunkt	Viskosität		Oberflächenspannung (in Normaltropfen)
			a) des Blutes	b) des Serums	
1	100/80	— 0,567	4,1	1,8	108,3
2	142/114	— 0,560	6,3	2,0	110,4
3	150/130	— 0,586	4,6	2,1	108,—
4	150/130	— 0,562	5,7	2,3	108,8
5	160/140	— 0,559	6,5	1,9	106,5
6	170/140	— 0,558	3,6	1,6	107,3
7	185/170	— 0,576	4,8	2,0	108,3
8	190/125	— 0,560	5,8	1,6	106,—

Vergegenwärtigen wir uns nochmals die normalen Werte, die wir als Grundlage für unsere Befunde nehmen können, da sie bei tausendfachen Untersuchungen und Nachprüfungen mit den auch von uns benutzten Apparaten und mit denselben Methoden immer wieder bestätigt wurden, so finden wir den normalen maximalen Blutdruck zwischen 110 und 120 mm Hg, den minimalen zwischen 80 und 90. Der Gefrierpunkt des Blutes von Gesunden wurde stets bei ungefähr —0,56 gefunden. Erniedrigung desselben bis —0,58 und 0,60 wurde beobachtet in manchen Fällen von Nephritis, besonders den verschiedenen Arten der Schrumpfniere, wohl dadurch, dass die Nieren nicht mehr imstande sind, die Schlacken aus dem Blut auszuscheiden. Das bedingt die Erhöhung der molekularen Konzentration, die in der Gefrierpunktserniedrigung ausgedrückt ist. Nicht so genau sind die Viskositätswerte angegeben, sie schwanken zwischen 4 und 6 für Blut und 1,5 und 2,8 für Serum. Die Oberflächenspannung, in „Normaltropfen" angegeben, schwankt zwischen 109 und 112.

Die Wahl unserer Fälle, die erhöhten Blutdruck aufweisen, haben wir absichtlich so getroffen, dass ein Teil derselben auf nephritischer Basis beruht, Fall 3 und 7, ein anderer Teil kein Anzeichen für eine Nephritis bietet. Da sehen wir nun, dass Fall 1, bei dem auch schon längere Zeit im Urin Eiweiss ausgeschieden wird, trotz nicht erhöhter Blutdruckwerte eine, wenn auch ganz geringe Erniedrigung des Gefrierpunktes zeigt. In verstärktem Mass sehen wir das bei Fall 3 und 7, wo wir aus dem klinischen Bild an eine Schrumpfniere denken mussten. Dagegen haben alle andern Fälle trotz Blutdrucksteigerung bis auf 190 mm einen völlig normalen Gefrierpunkt. Sie besitzen also demgemäss normale molekulare Konzentration des Blutes, die bei den Nephritisfällen vermehrt ist. Aus diesen Befunden ist der Schluss erlaubt, dass

1. Blutdrucksteigerung völlig unabhängig sein kann von einer Vermehrung der molekularen Konzentration des Blutes und

2. dass molekulare Konzentrationssteigerung — wenigstens nach unseren Untersuchungen und nach den Angaben der Literatur — von der Nephritis abhängig ist. Damit tritt die Bedeutung des Blutdrucks, wenn wir ihn letzten Endes auf die arteriellen Membranen zurückführen, gewissermassen als osmotische Funktion vollständig zurück. Da aber dem Blute im Körper die Aufgabe der osmotischen Regulierung der Gewebe zukommt, so ergibt sich daraus, dass diese nur von den Kapillaren vorgenommen wird, die eine Beeinflussung des Blutdrucks nicht zustande bringen.

Was die Viskosität anbelangt, so zeigen sich bei unseren Fällen Schwankungen, die man weder mit der Blutdrucksteigerung noch mit Aenderungen der molekularen Konzentration in Zusammenhang bringen kann. Bedenkt man die einzelnen Quotienten dessen, was man klinisch Viskosität nennt, also die Reibung des Plasmas in sich, die Reibung der Blutkörperchen an einander und am Plasma, so kommt man zu dem Schluss, dass eine eindeutige Auslegung von Viskositätsschwankungen nicht möglich ist.

Dasselbe gilt von der Oberflächenspannung. Wir sehen auch dabei keine Abhängigkeit von der Höhe des Blutdrucks, keine Abhängigkeit von der molekularen Konzentration.

Wir kommen also durch unsere Untersuchungen zu dem einwandfreien Schluss, dass die Blutdruckerhöhung ihre Erklärung nicht in physikalischen Zustandsänderungen des Blutes findet. Wir werden eher zu der Anschauung gebracht, dass jede Blutdrucksteigerung durch Verengerung der kleinen Arterien — sei es nun durch endarteriitische Prozesse oder durch einen Reizungszustand der Vasomotoren — im allgemeinen bedingt ist.

Zum Schluss sei es mir gestattet, Herrn Prof. Dr. Brugsch für die Anregung zu dieser Arbeit und die gütige Unterstützung meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Literaturverzeichnis.

1) Warburg, Experimentalphysik. — 2) du Bois-Reymond, Physiologie des Menschen und der Säugetiere. — 3) Nicolai, Die Mechanik des Kreislaufs in Nagel's Handbuch der Physiologie des Menschen. — 4) Geisböck, Die Bedeutung der Blutdruckmessung für die Praxis. Deutsches Arch. f. klin. Med. 1905. Bd. 83. — 5) Brugsch-Schittenhelm, Lehrbuch klin. Untersuchungsmethoden. 3. Aufl. 1916. — 6) Schade, Technik der medizinisch wichtigsten physiko-chemischen Untersuchungsmethoden in Brugsch-Schittenhelm, Technik der speziellen klinischen Untersuchungsmethoden. — 7) Neu, Experimentelle und klinische Blutdruckuntersuchung. Dissertation. Heidelberg 1902. — 8) Determann und Weil, Untersuchungen über Viskosität und Gasgehalt des menschlichen Blutes. Zeitschr. f. klin. Md. Bd. 70. — 9) Determann, Die Viskosität des menschlichen Blutes. Wiesbaden 1910. — 10) Derselbe, Demonstration eines neuen Viskosimeters. Kongr. f. innere Med. 1911. — 11) Derselbe, Klinische Untersuchungen über die Viskosität des menschlichen Blutes. Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 59. — 12) Bence, Ebendas. Bd. 58.

Lebenslauf.

Verfasser dieser Arbeit, Kurt Kleberger, Sohn des Wirkl. Geheimen Kriegsrates Otto Kleberger, wurde am 17. September 1889 zu Wesel geboren. Er besuchte das Protestantische Gymnasium in Strassburg i. Els. und das Kaiser Wilhelmsgymnasium in Hannover. Hier bestand er am 11. Februar 1908 die Reifeprüfung. Am 28. März 1908 wurde er an der Kaiser Wilhelms-Akademie für das militärärztliche Bildungswesen immatrikuliert, der er bis zum 28. Februar 1913 als Studierender angehörte.

Der Dienstpflicht mit der Waffe genügte er vom 1. April bis 30. September 1908 beim Garde-Füsilier-Regiment zu Berlin. Am 1. März 1913 erfolgte seine Ernennung zum Unterarzt und Kommandierung zur Kgl. Charité zur Ableistung des praktischen Jahres.

Am 30. Mai 1914 kam Verfasser nach Erlangung der Approbation als Arzt zum Infanterie-Regiment Nr. 114 in Konstanz. Mit seiner Beförderung zum Assistenzarzt wurde er zum Telegraphen-Bataillon Nr. 4 in Karlsruhe versetzt und bei Ausbruch des Krieges dem Feldartillerie-Regiment Nr. 14 überwiesen.